

ANALISA HEAT EXCHANGER JENIS SHEEL AND TUBE DENGAN SISTEM SINGLE PASS

Cahya Sutowo

Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Jakarta

Abstrak. *Proses perpindahan kalor pada dunia industri pada saat ini, merupakan proses kunci kerja dalam suatu mesin, karena semua mesin bekerja dalam temperatur yang cukup tinggi. Salah satu alat penukar kalor (Heat Exchanger), yang digunakan pada untuk mempertukarkan kalor antara fluida kerja yang berbeda temperaturnya.*

Oleh karena itulah penggunaan Heat Exchanger perlu diperhatikan kinerjanya secara teratur karena penggunaan Heat Exchanger dapat menghemat pemakaian energy pada mesin dengan menjaga agar mesin tersebut tidak bekerja dengan temperatur yang cukup tinggi.

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisa unjuk kerja alat penukar kalor jenis shell and tube dengan system satu lintasan sebagai pendingin mesin pada PLTU, PJB Muara Karang Unit 1 seperti kompresor, hydrogen cooler. Dimana alat penukar kalor ini bekerja untuk mendinginkan kembali air pendingin dari mesin selama mesin itu bekerja, dengan menggunakan air laut sebagai fluida pendinginnya.

Dari data yang diperoleh, hasil analisa alat penukar kalor ini didapat laju perpindahan panas sebesar 2179,8 W dan keefektifan alat penukar kalor tersebut selama alat penukar kalor tersebut bekerja sebesar 71,5 %, dimana dari hasil analisa tersebut dapat dikatakan bahwa alat penukar kalor masih bekerja dengan baik.

Kata Kunci : heat exchanger, shell and tube

PENDAHULUAN

Latar belakang

Pada dunia industri saat ini, proses perpindahan kalor merupakan salah satu proses kunci dalam kerja mesin. Seperti pada industri pembangkit listrik tenaga uap (PLTU), mesin-mesin industri bekerja menghasilkan berbagai macam perubahan energi, dari energi termis maupun energi mekanis yang dapat meningkatkan peningkatan suhu kerja dalam system. Untuk dapat mencegah maupun terjadinya peningkatan panas yang semakin tinggi maka di perlukan proses pendinginan.

Untuk proses pendinginan maka digunakan alat penukar kalor, sehingga panas dapat dipindahkan dari air pendingin mesin dengan memindahkan panas tersebut dengan sistem sirkulasi air dalam sistem kerja alat penukar kalor.

Proses pendinginan tersebut diatas digunakan air laut sebagai air pendingin untuk mendinginkan sejumlah air dalam sistem sirkulasi pendinginan yang telah mengalami proses perubahan suhu setelah air tersebut mendinginkan mesin, selanjutnya air panas tersebut didinginkan didalam alat penukar kalor.

Berbicara mengenai alat penukar kalor, definisi dari alat penukar kalor ialah suatu alat yang memfasilitasi perpindahan panas dari satu fluida ke fluida lain yang berbeda temperatur, dan menjaga agar kedua fluida tersebut tidak saling bercampur. Fungsi dari alat penukar kalor ini tidak hanya terbatas untuk proses pendinginan saja, tetapi juga di fungsikan untuk proses pemanasan, namun dalam penyusunan tugas akhir ini penyusun akan membahas mengenai alat penukar kalor yang berfungsi sebagai pendingin air (water cooler) terutama pada system pendinginan air pada PLTU.

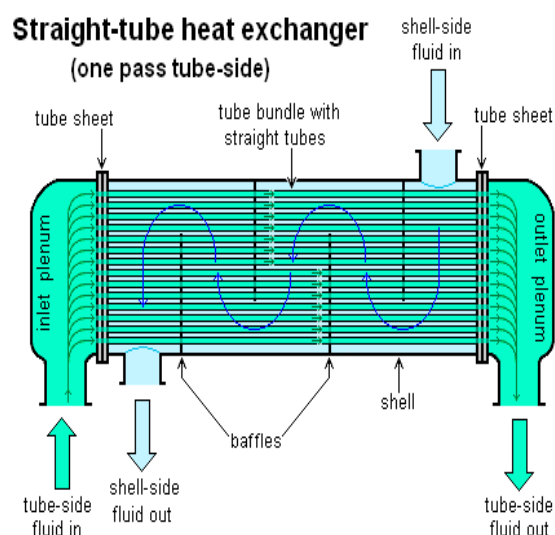
Alat penukar kalor disini banyak digunakan oleh dunia industri karena tidak menimbulkan kebisingan yang berarti didalam ruangan mesin. Selain itu dengan menggunakan alat penukar kalor jenis shell and tube sebagai pendingin, untuk penempatannya dapat dilakukan sesuai dengan keadaan ruangan.

LANDASAN TEORI

ALAT PENUKAR KALOR

Alat penukar kalor adalah suatu alat yang dapat memberikan fasilitas perpindahan panas dari satu fluida ke fluida lain yang berbeda temperaturnya, serta menjaga agar kedua fluida tersebut tidak bercampur.

Proses perpindahan panas yang paling sederhana adalah proses yang terjadi dimana fluida yang panas dan fluida yang dingin secara langsung. Dengan sistem demikian kedua fluida akan mencapai temperatur yang sama, dan jumlah panas yang berpindah dapat diperkirakan dengan mempersamakan kerugian energi dari fluida yang lebih panas dengan perolehan energi yang lebih dingin.



Gambar 1 Alat penukar kalor cangkang dan pipa, dengan satu lintas cangkang dan satu lintas pipa

PROSES PERPINDAHAN PANAS PADA ALAT PENUKAR KALOR JENIS CANGKANG DAN PIPA

Proses perpindahan kalor pada alat penukar kalor jenis cangkang dan pipa adalah berlangsung secara konveksi, suatu fluida tergantung dari aliran fluida tersebut. Jenis aliran tersebut dapat ditentukan berdasarkan bilangan Reynolds fluida tersebut.

Bilangan Reynolds merupakan bilangan tidak berdimensi, dan didapat dari :

$$Re = \frac{um.D.\rho}{\mu}$$

METODE NTU – EFEKTIFITAS

Efektifitas penukar kalor (heat exchanger effectiveness) didefinisikan sebagai berikut :

$$\text{Efektifitas} = \varepsilon = \frac{\text{Perpindahan kalor nyata}}{\text{Perpindahan kalor maksimum yang mungkin}} \quad \varepsilon = \frac{q}{q_{\text{mak}}}$$

Heat exchanger type	Effectiveness relation
1. Double pipe Parallel-flow	$\varepsilon = \frac{1 - \exp[-NTU(1+C)]}{1+C}$
Counter-flow	$\varepsilon = \frac{1 - \exp[-NTU(1-C)]}{1 - C \exp[-NTU(1-C)]}$
2. Shell and tube : One-shell pass 2,4...tube passes	$\varepsilon = 2 \left\{ 1 + C + \sqrt{1+C^2} \frac{1 + \exp[-NTU\sqrt{1+C^2}]}{1 - C \exp[-NTU\sqrt{1+C^2}]} \right\}^{-1}$
3. Cross-flow single pass Both fluids unmixed	$\varepsilon = -\exp\left\{\frac{C}{n}[\exp(-NCn)-1]\right\} \quad \text{where } n = N^{0,22}$
Both fluids mixed	$\varepsilon = \left[\frac{1}{1 - \exp(-N)} + \frac{C}{1 - \exp(-NC)} - \frac{1}{N} \right]^{-1}$
Cmax mixed Cmin unmixed	$\varepsilon = \frac{1}{C} (1 - \exp\{-C[1 - \exp(-CNTU)]\})$
Cmin mixed Cmax unmixed	$\varepsilon = 1 - \exp\left(\left(\frac{1}{C}\right)[1 - \exp(-NC)]\right)$
4. All heat exchangers with C = 0	$\varepsilon = 1 - \exp(-NTU)$

Daftar tabel 1 Persamaan-persamaan efektivitas penukar kalor

Dalam banyak hal, tujuan dari analisa adalah untuk membantu NTU (Number Transfer Unit) dan untuk itu dapat dibuat persamaan eksplisit untuk NTU dengan menggunakan efektivitas dan perbandingan kapasitas. Beberapa persamaan tersebut diberikan dalam daftar tabel (2) berikut ini :

Heat Exchanger type	NTU relation
1. Double –pipe: Parallel-flow	$NTU = -\frac{\ln(1 - \varepsilon(1 + C))}{1 + C}$
Counter-flow	$NTU = \frac{1}{C - 1} \ln\left(\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon C - 1}\right)$
2. Shell and tube One-shell pass 2,4...tube passes	$NTU = -\frac{1}{\sqrt{1 + C^2}} \ln\left(\frac{2/\varepsilon - 1 - C - \sqrt{1 + C^2}}{2/\varepsilon - 1 - C + \sqrt{1 + C^2}}\right)$
3. cross-flow (single-pass) C_{\max} mixed, C_{\max} unmixed,	$NTU = -\ln\left(1 + \frac{\ln(1 - \varepsilon C)}{C}\right)$
C_{\max} mixed, C_{\max} unmixed,	$NTU = -\frac{\ln(C \ln(1 - \varepsilon C) + 1)}{C}$
4. All heat exchanger With $C = 0$	$NTU = -\ln(1 - \varepsilon)$

Daftar tabel 2 Persamaan NTU, untuk penukar kalor.

Nilai faktor pengotoran untuk berbagai fluida dapat kita lihat dalam daftar tabel (2.5) dibawah ini.

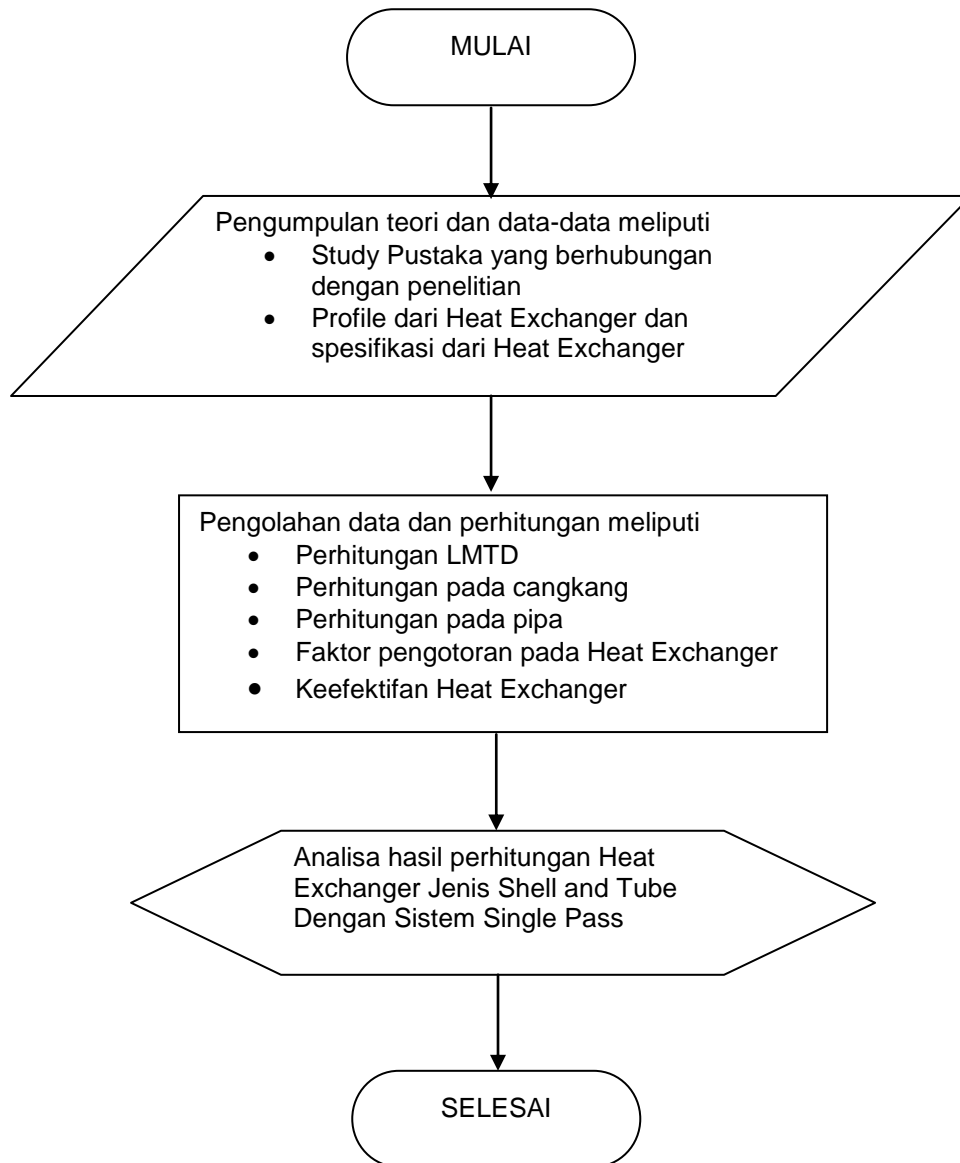
Jenis Fluida	Tahanan Pengotoran (h. °F.ft ² /BTU)
Air laut dibawah 125°F	0.0005
Air laut diatas 125°F	0.001
Air pengisi ketel, diatas 125°F	0.001
Air east river dibawah 125°F	0.002-0.003
Bahan bakar minyak	0.005
Minyak pencelupan	0.004
Uap alkohol	0.0005
Uap air, tidak mengandung minyak	0.0005
Udara industri	0.002
Cairan pendingin mesin	0.001

Daftar tabel 3 Daftar Faktor Pengotoran Normal

METODOLOGI PENELITIAN

Proses Analisa Alat Penukar Kalor Jenis Shell And Tube

Proses yang dilakukan oleh penyusun untuk menganalisa alat penukar kalor jenis shell and tube sampai didapatkan hasil analisa yang akurat mengenai kondisi kerja alat penukar kalor dengan melihat pada keefektifan dari alat penukar kalor tersebut dapat digambarkan pada diagram alir di bawah ini.



Gambar 2 Diagram Alir

HASIL DAN PEMBAHASAN

Heat Exchanger jenis Shell dan tube Tipe single Pass

- | | | |
|--------------------------------|--------------------|----------------------------|
| • Luas permukaan total | (A) | = 275 m ² |
| • Temperatur masuk air panas | (T _{hi}) | = 43°C |
| • Temperatur keluar air panas | (T _{ho}) | = 38°C |
| • Temperatur masuk air dingin | (T _{ci}) | = 32°C |
| • Temperatur keluar air dingin | (T _{co}) | = 38°C |
| • Laju aliran panas | (Q _h) | = 0,11 m ³ /s |
| • Laju aliran air dingin | (Q _c) | = 0,4167 m ³ /s |

- Diameter luar pipa (OD_t) = 0,0254 m
- Diameter dalam pipa (ID_t) = 0,023 m
- Diameter dalam cangkang (ID_s) = 1,10 m
- Jumlah pipa dalam tabung (N) = 926 Buah
- Panjang pipa (L) = 3,75 m

PERBEDAAN TEMPERATUR RATA RATA LOGARITMIK PADA ALAT PENUKAR KALOR

Dapat dihitung sebagai berikut :

Temperatur masuk air panas T_{hi} = 43⁰C

Temperatur keluar air panas T_{ho} = 38⁰C

Temperatur masuk air dingin T_{ci} = 32⁰C

Temperatur keluar air dingin T_{co} = 38⁰C

dengan :

$$\Delta T_a = T_{hi} - T_{co}$$

Dan

$$\Delta T_b = T_{ho} - T_{ci}$$

Sehingga Perbedaan temperatur rata-rata logaritmik, adalah :

$$\Delta T_{(LMTD)} = \frac{\Delta T_a - \Delta T_b}{Ln\left(\frac{\Delta T_a}{\Delta T_b}\right)}$$

PERHITUNGAN PADA CANGKANG

Luas penampang cangkang (A_s), yaitu :

$$A_s = \frac{1}{4} \pi (ID_s)^2 - \frac{1}{4} \pi (OD_t)^2 N$$

Sifat-sifat pada T_{hi} = 43⁰C, berdasarkan lampiran adalah :

$$\begin{aligned} C_p &= 4,174 \text{ kJ/kg}^0\text{C} \\ \rho_{air} &= 990,6 \text{ kg/m}^3 \\ \mu_s &= 0,000616 \text{ kg/s.m} \\ k &= 0,637 \text{ W/m}^0\text{C} \\ Pr &= 4,04 \end{aligned}$$

Menentukan laju aliran massa refrijeran (m_s) :

$$m_s = \rho_{air} \times Q_h$$

Kecepatan aliran massa pada cangkang (u_s) :

$$u_s = \frac{m_s}{\rho A_s}$$

Diameter hidrolis (D_h) pada cangkang, yaitu :

$$D_h = 4 \times \frac{\left(\frac{\pi}{4}\right)(D_2^2 - D_1^2)}{\pi (D_1 + D_2)} = (ID_s) - (OD_t)_{tot}$$

Dengan :

$$(OD_{t(tot)}) = \sqrt{\frac{At(tot)}{\pi/4}}$$

Bilangan Reynolds (**Re**) untuk aliran dalam cangkang, adalah :

$$Re = \frac{u_s \cdot D_h \cdot \rho}{\mu_s}$$

Berdasarkan besarnya nilai Reynold yang didapat yaitu $Re > 10.000$, maka aliran pada cangkang merupakan aliran turbulen penuh, aliran turbulen tersebut timbul disebabkan tingginya kecepatan aliran air pendingin didalam cangkang.

Karena alirannya turbulen, maka untuk menentukan harga (**Nu**) :

$$Nu = 0,023 (Re)^{0.8} (Pr)^{0.4}$$

Jadi koefisien konveksi pada cangkang (**h_s**), yaitu :

$$h_s = \frac{k}{D_h} \times Nu$$

PERHITUNGAN PADA PIPA (TUBE)

Luas penampang pada pipa (tube) per panjang tabung adalah :

$$A_t = \pi \cdot (ID_t) \cdot L$$

Dan

$$A_o = \pi \cdot (OD_o) \cdot L$$

Sifat-sifat air pada $T_{ci} = 32^{\circ}C$, berdasarkan lampiran adalah :

$$\begin{aligned} C_p &= 4,174 \text{ kJ/kg}^{\circ}C \\ \rho_{air} &= 994,9 \text{ kg/m}^3 \\ \mu_s &= 0,000765 \text{ kg/s.m} \\ k &= 0,623 \text{ W/m}^{\circ}C \\ Pr &= 5,12 \end{aligned}$$

Laju aliran massa refrijeran (**m_t**) :

$$m_t = \rho_{air} \times Q_c$$

Kecepatan aliran massa pada pipa (**u_t**) adalah :

$$u_t = \frac{m_t}{\rho A_t}$$

Bilangan Reynolds (**Re**) untuk aliran didalam pipa adalah :

$$Re = \frac{u_t \cdot D_h \cdot \rho}{\mu_t}$$

Berdasarkan besarnya nilai Reynold yang didapat yaitu $Re > 10.000$, maka aliran didalam pipa ialah aliran turbulen penuh, aliran turbulen didalam pipa timbul akibat tingginya kecepatan aliran air pendingin yang masuk kedalam pipa

Koefisien konveksi pada pipa (**h_t**), yaitu :

$$h_{ti} = \frac{k}{D_i} \times Nu \quad \text{dan} \quad h_{to} = \frac{k}{D_o} \times Nu$$

Koefisien perpindahan kalor menyeluruh (**U**), dengan konduktivitas (**k**) untuk tembaga berdasarkan lampiran.

$$k = 31,2 \text{ W/m}^{\circ}C$$

Sehingga

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{A_i \ln(OD_t/ID_t)}{2 \pi k L} + \frac{A_i}{A_o} \frac{1}{h_o}}$$

Laju perpindahan panas pada pipa adalah :

$$q = U \cdot A \cdot \Delta T_{(LMTD)}$$

FAKTOR PENGOTORAN PADA ALAT PENUKAR KALOR

Dari daftar tabel (3) dapat kita lihat faktor pengotoran (R_d) untuk air panas dan air laut, sebagai berikut :

$$\begin{aligned} R_d (\text{air laut}) &= 0,00009 \text{ m}^2\text{C/W} \\ R_d (\text{air panas}) &= 0,00009 \text{ m}^2\text{C/W} \\ R_d (\text{total}) &= 0,00018 \text{ m}^2\text{C/W} \\ &= 1,8 \times 10^{-4} \text{ m}^2\text{C/W} \end{aligned}$$

Koefisien perpindahan kalor kotor (U_d) :

$$R_d = \frac{1}{U_d} - \frac{1}{U_c}$$

Sehingga :

$$U_d = \frac{U_c}{(R_d \times U_c) + 1}, \text{ dengan } U_c = 1470,59 \text{ W/m}^2\text{C}$$

Penurunan koefisien perpindahan kalor adalah :

$$R_{d(\text{tot})} \times U_d$$

KEEFEKTIFAN PADA ALAT PENUKAR KALOR

Keefektifan penukar kalor cangkang dan pipa dengan sistem satu kali lintas dapat ditentukan dengan rumus pertama dengan tipe aliran lawan arah (counter flow) pada daftar (1), yaitu :

$$\varepsilon = \frac{1 - \exp(-NTU(1-C))}{1 - C \exp(-NTU(1-C))}$$

Dengan :

$$C_h = m_h \cdot C_{ph} \quad \text{dan} \quad C_c = m_c \cdot C_{pc}$$

Dengan :

$$NTU = \frac{U \cdot A}{C_{\min}} = \frac{1470,59 \text{ W/m}^2\text{C} \times 275 \text{ m}^2}{454.8 \text{ kW/}^0\text{C}} = 0,89$$

Maka keefektifan penukar kalor adalah :

$$\varepsilon = \frac{1 - \exp(-NTU(1-C))}{1 - C \exp(-NTU(1-C))}$$

KESIMPULAN

Heat Exchanger jenis *Shell and Tube single pass* berfungsi sebagai pendingin tambahan yang berkerja untuk mendinginkan kembali air pendingin dari mesin selama mesin tersebut bekerja, dengan menggunakan air laut sebagai fluida pendinginnya.

Dari penelitian dan perhitungan yang dilakukan alat penukar kalor jenis cangkang dan pipa satu lintas sebagai pendingin tambahan maka dapat diambil kesimpulan :

- Dengan bilangan Reynold Pada cangkang maupun pada pipa semua hasil bilangan tersebut ($Re > 10.000$), maka didapat aliran yang mengalir pada pipa maupun pada cangkang adalah aliran Turbulen, hal tersebut diakibatkan dengan besarnya nilai kecepatan aliran massa pada cangkang dan pada pipa sehingga aliran yang timbul adalah aliran turbulen.
- Keuntungan timbulnya aliran turbulen dari pada aliran laminar adalah dengan tingginya kecepatan aliran massa maka akan mempercepat proses perpindahan panas dari air panas ke air dingin melalui pipa.

SARAN

Guna menjaga kondisi dan keefektifan alat penukar kalor agar dapat bekerja dengan baik maka ada beberapa hal yang harus diperhatikan yaitu :

- Melakukan perawatan berkala pada alat penukar kalor.
- Melakukan pengecekan pada alat penukar kalor, agar alat tersebut tidak bekerja melewati batas maksimum suhu yang telah ditetapkan
- Melakukan proses penyaringan air laut secara lebih ketat lagi, agar mendapatkan kualitas air laut yang bersih sehingga tidak akan terjadi pengotoran pada pipa Heat Exchanger.

DAFTAR PUSTAKA

1. Black & Veatch Internasional consulting Engineers, Kansas City, Missouri.USA 1979, "Intruccion Book For Feed Water Heaters and Heat Exchangers", P.122.M.00 (07) Mit.1.
2. Frank Keith, terjemahan Arko Prijono, "Prinsip-prinsip Perpindahan Panas", Erlangga, Jakarta,1994.
3. "Fundamental Of Heat Transfer", Frank P.Incopera & David P. De Witt.
4. J. P. Holman, terjemahan Ir. E. Jasfi, "Perpindahan Kalor", Erlangga, Jakarta, 1994.
5. Kern,Donald .Q, " Proses Heat Transfer" , McGraw-hill Company, Edtion 1965.
6. Max Jacob & George A. Hawkins, Purdue Univerity, "Elements Of Heat Transfer", Jhon Wiley & sons.inc, edisi 3,Th 1957.
7. Operating Intruction Unit 1,2,3, Volume I (621.311.22).
8. Sitompul,Tunggul,M. "Alat Penukar Kalor" ,PT. Raja Grafindo Persada, Jakarta, 1991.